

平成30年6月24日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12597

研究課題名(和文)加齢に向き合う脳の計算論的運動制御アプローチ

研究課題名(英文)Computational Motor Control Approach for Aging

研究代表者

和田 安弘(Wada, Yasuhiro)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：70293248

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文):運動機能の低下を評価できるようになれば、健康状態を維持できる可能性が高まることが期待できる。脳科学的計算論的アプローチの知見をベースに、身体運動計測と脳のイメージング計測の両方を組み合わせて、運動機能の変化を計算論モデルから評価する基礎的な研究開発を実施し、以下の実績を得た。等時性が観測される運動(8の字、2重楕円運動)及びフィッツの法則に従うと考えられる運動軌道、筋電、脳波(EEG)を同時計測し、健康被験者のデータを計測し、我々が提案した算論的モデルの妥当性を検証した。また、EEGのみならずfNIRSでの検討も見据え、fNIRS信号のリアルタイム頭皮血流除去方法を検討した。

研究成果の概要(英文): If it becomes possible to evaluate the decrease of human motor function, we can expect that the possibility of maintaining health status will increase. Based on the findings of the brain computational approach, we conducted fundamental research and development to evaluate changes in motor function from a computational model by combining both physical movement measurement and brain imaging measurement, and the following results was obtained. Simultaneous measurement of motion trajectories, electromyograms, electroencephalograms (EEG) that are considered to follow isochronic motion (eight letter motion, double elliptical motion) and Fitts' law, measure data of healthy subjects, we verified the validity of the proposed model. We also developed a simple method of real time scalp blood flow removal of fNIRS signal to apply fNIRS to the research.

研究分野：計算論的運動制御

キーワード：計算論的モデル 脳波 筋電 fNIRS

### 1. 研究開始当初の背景

自分の生まれ持った体を維持しながら、人間らしく生活して人生をまっとうするための方法論は、今後の一層の長寿社会になる我が国の課題であるばかりではなく、全人類の課題である。

ヒトの脳を対象にした脳科学研究は、ブレイン・マシン・インターフェースやリハビリテーション等への応用を指向した研究が推進されている。それは脳信号計測技術や脳イメージング技術の発展に依るところが大きく、工学的観点から見れば、信号処理技術や機械学習等のパターン分類・推定技術を組み合わせた展開が多かった。一方、従来から脳科学研究では、特に工学分野では、計算論的アプローチとしてモデルベースで脳機能を理解しようとする研究が盛んに行われてきた。しかしながら、計算論的アプローチと脳信号計測技術・脳イメージング技術を組み合わせ、脳機能を理解しようとする研究は多くはない。最近では、モデルベースのリハビリテーションの研究が試行され始めている。

我々は、長年ヒト運動制御に関して計算論的アプローチで研究をしてき、最近では、脳信号計測技術である脳波 (EEG)、機能的近赤外分光法 (fNIRS) などを使ったブレイン・マシン・インターフェースの基礎的な研究を進めてきている。本研究では、我々の研究してきた計算論的アプローチ研究 (運動指令を基本としたダイナミクスモデルによるヒト腕運動計算論モデル) とブレイン・マシン・インターフェースの基礎的な研究を統合してヒトの運動機を評価する基盤構築を目指す。ヒト腕運動制御の研究においては、幾つかの普遍的な法則が見いだされており、Isochrony Principle と Fitts' Law はキネマティックなレベルであるが、ヒト運動をよく再現できるモデルである。我々は、このモデルを運動指令から解釈できるモデルに発展させ、筋骨格系、脳神経系に結びつくように展開し、これらのモデルから運動機能の変容推定に結びつける。

### 2. 研究の目的

運動機能の低下には、運動器の変容と脳内の計算機構の変容があると考えられる。もし運動機能の低下を評価できるようになれば、変容を抑制するプログラム開発にもつながり、健康状態を維持できる可能性が高まることが期待できる。本研究のアプローチは、ヒト運動制御に関する脳科学的計算論的アプローチの知見をベースに、筋電や運動計測技術による身体運動計測と脳のイメージング計測の両方を組み合わせて、運動機能の変化を計算論モデルから評価し、運動機能の変容を推定する研究開発を実施する。

### 3. 研究の方法

我々の申請課題は、キネマティックな運動レベルにおいて、その評価がモデルによって可

能な代表的な2つのタスク (isogony principle, Fitts' law) に対して、キネティック (ダイナミクス) な運動レベル、脳活動レベルに展開していくことにより、最終的には脳の計算レベルから、筋活動レベル、効果器レベルでの変化を評価するための基盤を構築するものである。

本研究では、最初にこれまでの計算理論を理論的側面から厳密に確立し、健常被験者による確認実験を実施する。次に脳情報や運動情報計測基盤技術を確立する。つまり、我々は脳活動を機能的近赤外分光法 (fNIRS) および脳波計 (EEG) によって計測する予定である。各々比較的簡便な計測装置であるが、運動を計測するためには、計測方法の確認実験が必要である。特に fNIRS に関しては、頭皮血流の影響が無視できず、その影響除去は重要である。8 の字や2重楕円のような比較的大きな運動における頭皮血流の除去の可能性を確認する。EEG についても運動中の計測の可能性を検討する。

また、EEG データの解析のために脳領域間の構造的ネットワークと機能的ネットワークの推定の可能性を検討する

### 4. 研究成果

(1) isogony principle が観測される運動 (8 の字、2重楕円運動) 及び Fitts' law に従うと考えられる運動軌道、筋電、脳波 (EEG) を同時計測し、健常被験者 15 名分のデータを計測した。まず、この計測データの運動軌道、筋電のデータを使って、計算論的モデルの妥当性の検証を実施した。等時性は大小の円の運動時間が等しくなる現象と捉えられているが、我々は大小の円を描く運動指令に基づく関係モデルを提案しており、提案モデルでは、腕運動の関節トルクによって表現されている。我々は提案モデルを発展させ、脳からの運動指令の近似とされる筋電 (EMG) を用いて、上述のモデルでの妥当性の検討・評価をおこなった。実験では、異なる運動距離の2重楕円や8の字を描画した際の EMG を用いて上述モデルで解析した。その結果、運動時間比より EMG の方が運動距離比の増加に対する変化が小さいことが分かった。この結果は、運動距離比が変化しても EMG の比はほぼ一定であり、EMG から等時性を説明できる可能性を示唆している。Fitts' law については、よりダイナミクスに忠実なモデルの提案を検討し、途中段階での妥当性を被験者データから確認をした。

(2) 時間分解能の高い脳波 (EEG) の解析方法の検討をすすめており、脳波の位相同期現象を脳領域間の時系列変化に着目した脳の機能的ネットワーク解析を検討し、定量的に評価する手法を提案した。今後、等時性現象等の脳波解析において、本手法を適用して検討する予定である。

(3) EEG のみならず fNIRS での検討も見据えて、NIRS 信号のリアルタイムによる頭皮血

流除去の比較的簡便な方法を検討した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

1. Sato, T., Nambu, I., Takeda, K., Aihara, T., Yamashita, O., Isogaya, Y., Inoue, Y., Otaka, Y., Wada, Y., Kawato, M., Sato, M. A., Osu, R., Reduction of global interference of scalp-hemodynamics in functional near-infrared spectroscopy using short distance probes. *NeuroImage*, 2016. 141: p. 120-132. doi:j.neuroimage.2016.06.054
2. Yuta Oda, Takanori Sato, Isao Nambu, Yasuhiro Wada, Real-Time Reduction of Task-Related Scalp-Hemodynamics Artifact in Functional Near-Infrared Spectroscopy with Sliding-Window Analysis. *Applied Sciences*, 2018. 8(149); doi:10.3390/app8010149
3. Hiroki Nakamura, Takanori Sato, Takanori, Isao Nambu, Yasuhiro Wada, Removing Task Induced Superficial Tissue Hemodynamics and Head Motion Induced Artifacts in Functional Near Infrared Spectroscopy, *Japanese Psychological Research*(2018)
4. Hiroshi Yokoyama, Isao Nambu, Jun Izawa, Yasuhiro Wada, Alpha Phase Synchronization of Parietal Areas Reflects Switch-Specific Activity During Mental Rotation: an EEG study. *Frontiers in Neuroscience*, 12:259. doi: 10.3389/fnhum.2018.00259

[学会発表](計13件)

1. 横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘. ベータ波の位相同期は運動切り替えにおける左右の手の選択のプロセスを反映する. 電子情報通信学会信越支部大会(2015).
2. Yokoyama Hiroshi, Nambu Isao, Ozawa Jun, Wada Yasuhiro, Switch specific modality reflected beta-power phase synchronization: an EEG study, 日本神経科学学会(2015).
3. 横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘, メンタルローテーション課題を用いた手の運動想起切り替えにおける時系列脳波, 第八回 Motor Control 研究会(2015).
4. 武田美咲, 南部功夫, 和田安弘, ヒト腕

関節の粘性が運動時間に与える影響, 第37回バイオメカニズム学術講演会(2016)

5. 武田美咲, 南部功夫, 和田安弘, ヒト腕ダイナミクスにおける粘性が運動時間に与える影響, 電子情報通信学会信越支部大会(2016)
6. 倉井理詠, 横山寛, 南部功夫, 和田安弘, ヒト腕運動等時性現象のEMG信号を用いた考察, 電子情報通信学会信越支部大会(2016)
7. Oda, Y., T. Sato, I. Nambu, Y. Wada, International Conference on Neural Information Processing(2017).
8. Yokoyama, H., Kurai, R., Nambu, I., Wada, Y., Electromyogram activation reflects property of isochrony phenomenon during cyclic human arm movement, International Conference on Neural Information Processing(2017).
9. Takeda, M., I. Nambu, Y. Wada, Joint Torques Are Associated with Speed-Accuracy Trade-Offs During Human Reaching Movements, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics(2017).
10. Kojima, S., M. Takeda, I. Nambu, Y. Wada, Relations between Required Accuracy and Muscle Synergy in Isometric Contraction Tasks, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics(2017)
11. 武田美咲, 南部功夫, 和田安弘, ヒト腕ダイナミクスに基づくトルクノイズと運動時間の関係, 第38回バイオメカニズム学術講演会(2017)
12. 小田祐太, 佐藤貴紀, 南部功夫, 和田安弘, 頭皮血流除去のためのスライディング窓適用GLMによるfNIRSリアルタイム信号処理に関する研究, 日本神経回路学会(2017)
13. 小田祐太, 佐藤貴紀, 南部功夫, 和田安弘, 機能的近赤外分光法を用いたリアルタイム頭皮血流除去: 実データに対する検討, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会(MBE)(2018)

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

和田 安弘 (WADA YASUHIRO)  
長岡技術科学大学・工学部・教授  
研究者番号：70293248

##### (2) 研究分担者

大石 潔 (OHISHI KIYOSHI)  
長岡技術科学大学・工学部・教授  
研究者番号：40185187

##### (3) 研究分担者

南部 功夫 (NAMBU ISAO)  
長岡技術科学大学・工学部・助教  
研究者番号：1310240428